

УДК 621.31-5

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВЫСОКОТОЧНОГО ДОЗИРОВАНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

И.Ю. Краснов

Томский политехнический университет

E-mail: kiu@tpu.ru

Рассматривается имитационная модель системы автоматизированного дозирования сыпучих материалов, включающая робастную систему управления двигателями шнековых питателей. Модель описана в пространстве состояний с помощью языка программирования MATLAB, интерфейса S-функций и среды Simulink. Для фильтрации шумов в канале измерения использован фильтр Калмана. Графическое представление результатов моделирования доказывает адекватность имитационной модели дозирования, эффективность метода перенастройки параметров регулятора и целесообразность использования алгоритма фильтрации измеряемых сигналов. Ошибка по весу при наличии влияния параметрических возмущений на двигатель шнекового питателя без перенастройки параметров регулятора составляет 0,3 кг (+3 %) при заданных 10 кг, а с перенастройкой параметров регулятора – 0,01 кг (+0,1 %).

Введение

Производительность труда и эффективность производства во многом определяются степенью автоматизации технологических процессов и достоверностью информации о сырьевых потоках и качестве продукции. Это особенно актуально в пищевой и перерабатывающей промышленности.

Более того, на этапе разработки для исследования систем всё чаще используются принципы математического и имитационного моделирования, которые позволяют оценить эффективность используемых алгоритмов и получить предварительные результаты.

Основной особенностью рассматриваемых объектов является их нестационарность: параметры объектов с течением времени изменяются в определённом диапазоне. Нестационарность вно-

сит принципиальные трудности как в изучение структурных свойств объекта (устойчивости, управляемости и наблюдаемости), так и в разработку алгоритмов оценивания и управления. Таким образом, принципиально важным свойством адаптивных методов обработки информации является робастность, под которой понимается статистическая надёжность метода и нечувствительность результатов к изменениям условий наблюдения [1].

1. Объект автоматизации

Состав технологического оборудования, использованного в процессе дозирования и представленного на схеме (рис. 1):

- 7 шнековых питателей;
- бункер-дозатор грузоподъемностью до 1000 кг, установленный на 3 тензодатчиках;

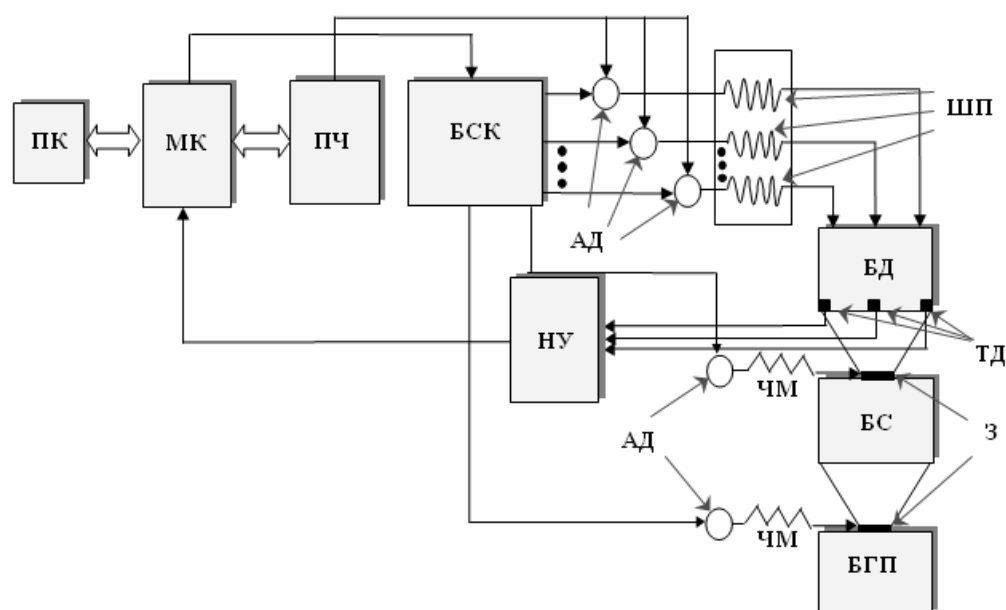


Рис. 1. Функциональная схема системы дозирования: ПК – персональный компьютер; МК – микроконтроллер; ПЧ – преобразователь частоты; БСК – блок силовой коммутации; АД – асинхронный двигатель; ШП – шнековый питатель для подачи расходного материала из расходных бункеров; ТД – тензодатчик; НУ – нормирующий усилитель; БД – бункер дозатор; З – задвижка для перемещения сыпучего материала; ЧМ – червячный механизм перемещения задвижки; БС – бункер смеситель; БГП – бункер готовой продукции

- бункер-смеситель, оснащенный асинхронным двигателем смесителя мощностью 15 кВт и двигателем рыхлителя;
- бункер отгрузки готовой продукции с емкостным датчиком уровня;

В целом объект автоматизации включает в себя 10 асинхронных электродвигателей мощностью от 1,7 до 15 кВт.

2. Исследования на имитационной модели

Было разработано математическое описание процесса дозирования и составлена имитационная модель в среде моделирования Matlab Simulink 7 R14. На рис. 2 представлена структурная схема системы управления процессом дозирования. В модели не учитывается наличие механических связей между двигателями и шнековыми питателями.

Таким образом, при моделировании принимаются допущения, связанные с отсутствием матема-

тического описания механических и упругих связей приводов (трение, люфты и т. д.). Вследствие чего модель нельзя считать адекватной реальному процессу, однако, результаты исследований доказывают эффективность имитационного моделирования.

Первоначально были определены структура и параметры регулятора веса для линеаризованной непрерывной системы, исходя из требования минимизации времени дозирования при апериодическом характере переходного процесса и астатизме системы по управлению, т. е. ошибке дозирования в установившемся режиме, равной нулю. Для этого при данном объекте управления оказалось достаточно использовать пропорционально-интегральный регулятор (ПИ-регулятор) [2].

На рис. 3 блок робастной адаптации осуществляет формирование величины перенастройки параметров регулятора. Входной сигнал «Скорость(эт)», соответствующий эталонной скорости

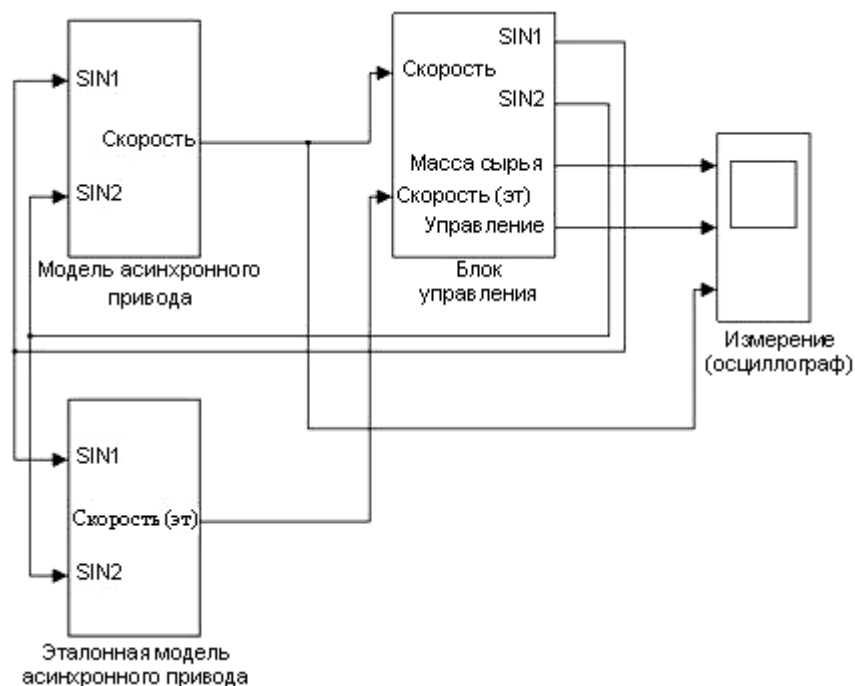


Рис. 2. Структурная схема системы дозирования

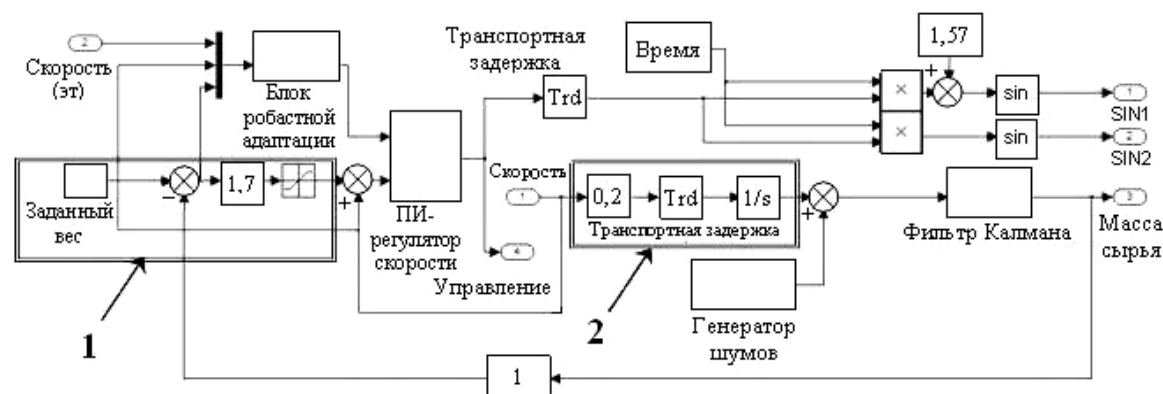


Рис. 3. Структурная схема системы управления процессом дозирования

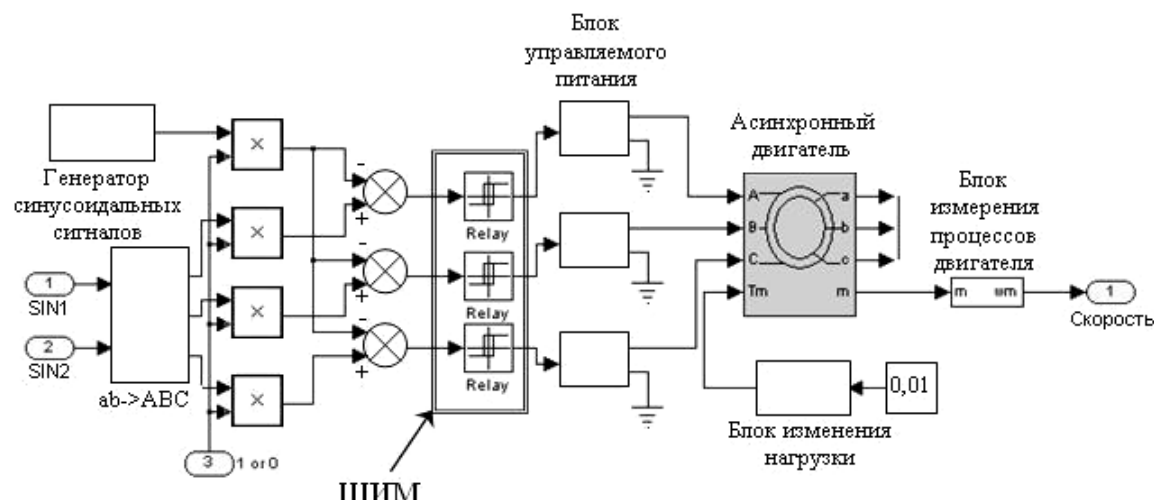


Рис. 4. Структурная схема модели асинхронного привода шнекового питателя

вращения вала двигателя, соответствует выходному сигналу эталонной модели асинхронного привода с постоянной номинальной нагрузкой (рис. 4). Перенастройка осуществляется посредством добавления к коэффициенту управления ПИ-регулятора величины коэффициенты перенастройки. Величина перенастройки вычисляется по форме [1, 3]

$$g(k) = \sqrt{|\omega(k) - \omega_{\text{эт}}(k)| \cdot e^2(k)}, \quad (1)$$

где ω , $\omega_{\text{эт}}$ – текущая и номинальная (по эталонной модели) частоты вращения вала двигателя, e – ошибка регулирования по весу; блок фильтрации шумов реализует работу фильтра Калмана [4, 5]; сектор – 1 включает блоки задания на вес, регулятор веса и блоки, моделирующие квантование сигнала задания на скорость по уровню (характеристики канала связи); сектор – 2 содержит блоки, моделирующие объект управления: коэффициент передачи шнекового питателя с заданной производительностью, звено транспортной задержки (время падения дозируемого материала) и интегратор (растущая масса бункера-дозатора). Датчик веса в модели имеет приведенный единичный коэффициент передачи.

На рис. 4 блок генерации синусоидальных сигналов формирует непрерывный синусоидальный сигнал по форме

$$O(t) = \text{Amp} \cdot \sin(2\pi \cdot Fr \cdot t + Ph),$$

где Amp – амплитуда (400); Fr – частота (1000 рад/с); Ph – сдвиг по фазе ($\pi/2$); блок изменения нагрузки имитирует «наброс» нагрузки на валу двигателя на 60 % в моменты времени = 1, 2 и 4 с длительностью 0,5 с (в эталонной модели привода шнекового питателя нагрузка двигателя считается постоянной и номинальной (0,5)).

На рис. 5 показаны результаты моделирования при дозировании веса 10 кг.

Наличие в системе транспортной задержки приводит к тому, что после остановки двигателя, т. е. потере управляемости процессом дозирования,

вес продолжает увеличиваться, как минимум, на величину массы «падающего столба» материала, причем по мере наполнения бункера задержка и масса уменьшаются. Кроме того, масса столба уменьшается пропорционально скорости, предшествующей остановке шнекового питателя. В частности, в связи с этим оказался важным такой параметр электропривода, как диапазон регулирования скорости.

Графические данные на рис. 5 показывают, что построенная модель является адекватной, ошибка регулирования по весу сырья равна нулю в момент времени 13 секунд, что говорит об эффективном управлении процесса высокоточного дозирования сыпучих материалов.

Для фильтрации случайных величин, имитирующих влияние различных факторов на датчики веса (неравномерность ссыпания сырья, оседание воздушных масс с повышенным давлением на дно дозатора) и приводящих к случайным погрешностям в измерениях массы расходного сырья, в системе управления используется фильтр Калмана. Экспериментально было установлено, что погрешность измерений веса m , вызванная влиянием факторов на датчики, составляет в среднем 3 кг и не зависит текущей массы сырья, находящейся во взвешиваемом бункере. Таким образом, $m_v = m + 3v$, где v – белый гауссовский шум.

На рис. 6 представлены результаты моделирования при фильтрации фильтром Калмана случайных величин (шумов) в канале измерений и при отсутствии фильтрации. Результаты подтверждают адекватность работы фильтра и целесообразность его использования в системе управления.

Анализ результатов моделирования на рис. 7 позволяет сделать вывод о компенсации «наброса» нагрузки на вал двигателя посредством перенастройки (1) параметров регулятора. На момент времени 14 с масса сырья в дозаторе при моделировании без перенастройки параметров регулятора составляет 10,3 кг (+3 %) при заданной массе в 10 кг,

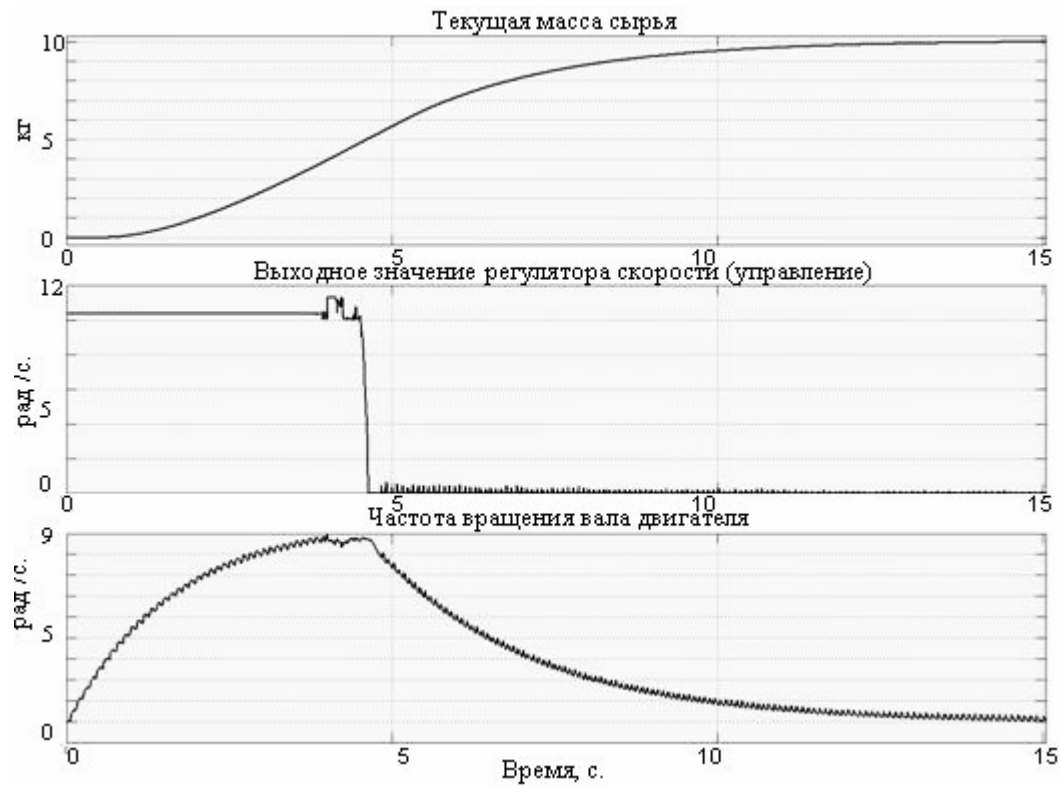


Рис. 5. Результаты моделирования при отсутствии возмущений

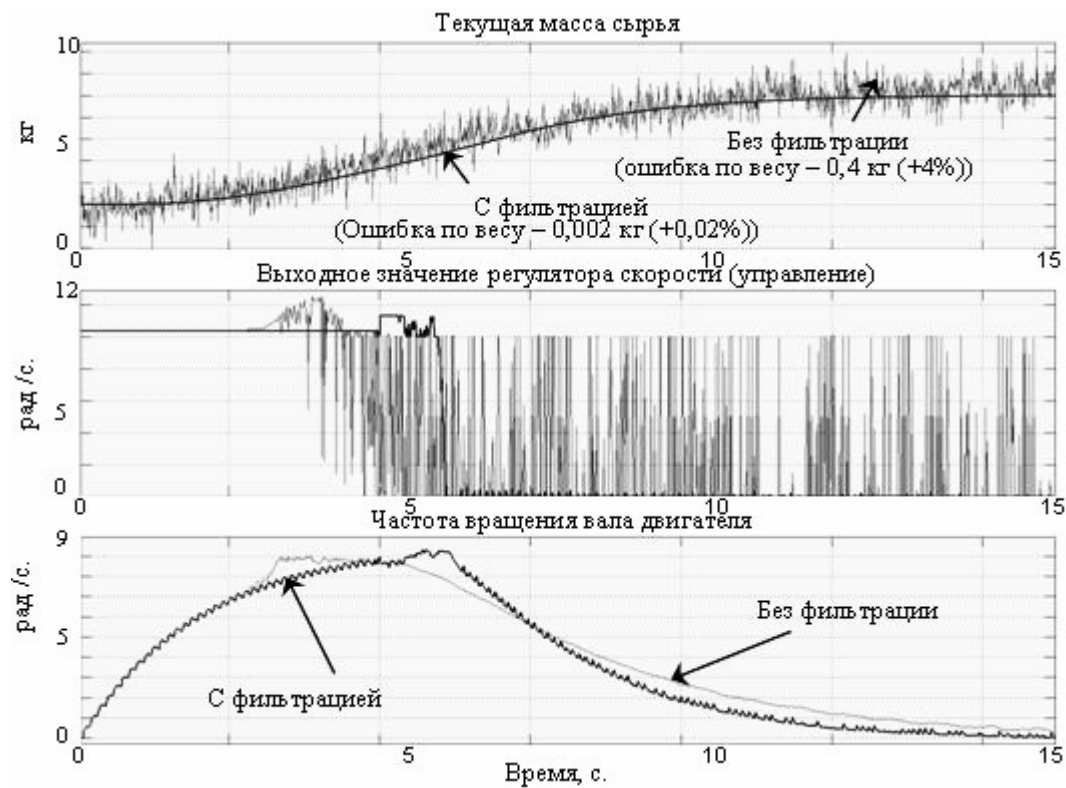


Рис. 6. Результаты моделирования с фильтрацией шумов в канале измерений и без фильтрации

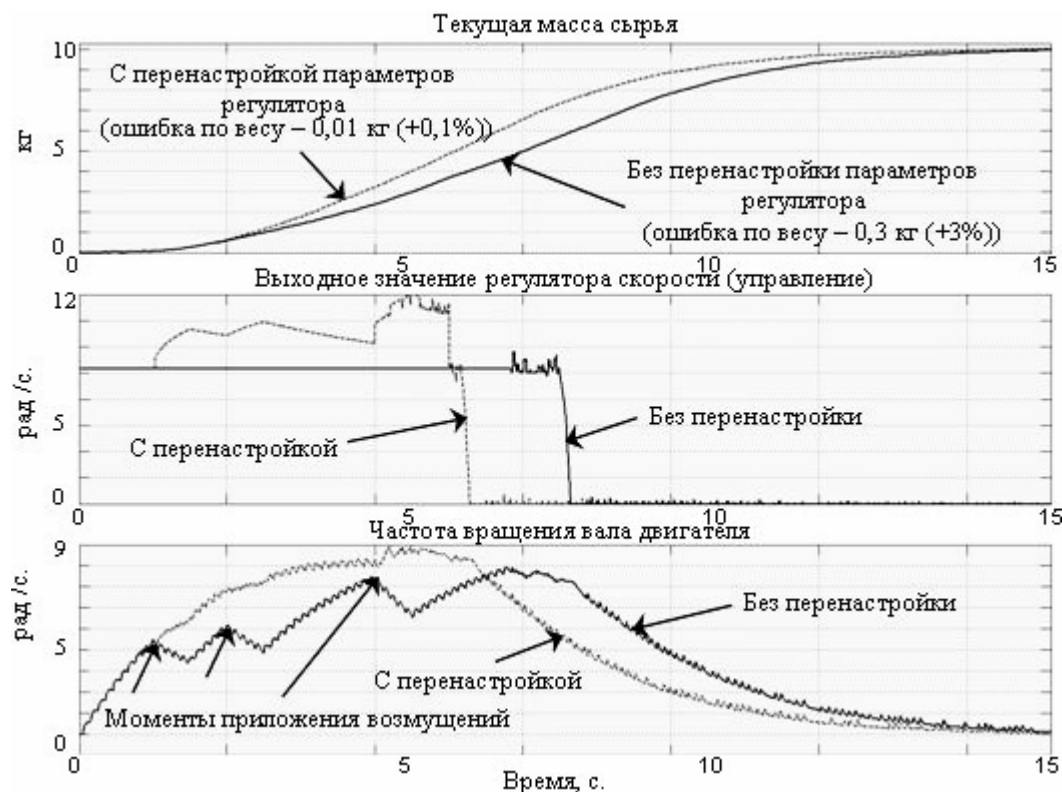


Рис. 7. Результаты моделирования при наличии возмущений

что свидетельствует о «потере» точности системы управления.

Моделирование системы позволило сделать и ряд других выводов, в частности, подтверждено, что при данных параметрах системы достаточно дискретности управления регулируемым электроприводом на уровне 1...2 Гц. Такую дискретность управления вполне может обеспечить встроенный в преобразователь частоты интерфейс RS-232 с протоколом обмена ModBus RTU.

Заключение

Проведено моделирование и исследование системы высокоточного дозирования сыпучих материалов, в которой реализуется алгоритм компенса-

ции параметрических возмущений на объект управления.

Разработанная система робастного управления процессом высокоточного дозирования сыпучих материалов обеспечивает эффективное управление технологическим процессом при влиянии параметрических возмущающих воздействий на двигатель шнекового питателя. Результаты доказывают эффективность работы метода перенастройки параметров регулятора. Ошибка регулирования по весу материала при наличии влияния параметрических возмущений на двигатель шнекового питателя без перенастройки параметров регулятора составляет 0,3 кг (при заданных 10 кг) (+3 %), а с перенастройкой параметров регулятора – 0,01 кг (+0,1 %).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Букреев В.Г., Краснов И.Ю. Оценка робастности алгоритмов управления нестационарными электромеханическими объектами // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т. 308. – № 2. – С. 145–148.
2. Афанасьев В.Н., Колмановский В.Б., Носов В.Р. Математическая теория конструирования систем управления. – М.: Высшая школа, 1998. – 574 с.
3. Krasnov I.Yu. Adaptive algorithm of robust control for nonlinear nonstationary systems // Fundamental research. – 2006. – № 2. – P. 38–41.
4. Букреев В.Г., Краснов И.Ю., Чашин А.К., Соснин С.К. Оптимизация нестационарных электромеханических систем с дискретным управлением // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т. 308. – № 4. – С. 143–147.
5. Мирошник И.В., Никифоров В.О., Фрадков А.Л. Нелинейное и адаптивное управление сложными динамическими системами. – СПб.: Наука, 2000. – 549 с.

Поступила 13.09.2007 г.